

운동부하가 움직임-호흡 결합에 미치는 영향

남궁영, 박은영, 박호준
연세대학교 대학원 재활학과

Abstract

Effect of the Exercise Load on the Locomotor-Respiratory Coupling

Namkung Young, B.H.Sc., O.T.

Park Eun-young, B.H.Sc., R.P.T.

Park Ho-Joon, B.H.Sc., R.P.T.

Dept. of Rehabilitation Therapy, The Graduate School, Yonsei University

The nature of entrainment between the locomotor and the respiratory rhythm was investigated while normal human subjects were walked or running on a treadmill. The purpose of this study was to analyze the incidence and type of coordination between the locomotor and the respiratory rhythm during running at different work load. The experiments were carried out on 12 untrained volunteers exercising at 3 work loads (2 METs, 3 METs, 4 METs in randomized order). The gait cycle was measured by electromyography (EMG) signal of gastrocnemius firing and the respiratory cycle was measured by a thermometer. We found that the ratio between the locomotor and the respiratory rhythm existed and 2:1 ratio between the locomotor-respiratory coupling was dominant at 2 METs and 3 METs.

Key Words: Locomotor-respiratory coupling.

I. 서론

보행은 운동의 가장 일반적인 형태이며, 인간의 보편적인 이동수단이다(Robert와 Waters, 1992). 보행 동안 신체에 나타나는 변화로는 산소 소비율의 증가, 심박동수의 증가, 에너지 소비율의 증가 등이 있다. 건강한 성인을 대상으로 조사한 결과, 산소 소비율은 휴식 동안에는 3.5 ml/kg/min인데 비해 평균 보행 속도인 80 m/min으로 걸을 경우 12 ml/kg/min으로 증가하고(Robert와 Waters, 1992), 에너지 소비율은 기립자세의 1.4-2.0 kcal/min/70 kg에 비하여 평균 보행속도로 걸을 때, 4.3 kcal/min/70 kg으로 증가한다(Brown과 Brengelmann, 1965; Passmore와 Durnin, 1955).

운동 중 발생하는 신체의 피로도를 최소화하기 위하여 신체 내부에서는 혈류량, 혈압 그리고 모세혈관 순환의 변화 등 생리적 적응이 발생한다. 운동 중 증가하는 근육의 산소 요구량에 적응하기 위해 호흡근을 포함한 골격근 및 피부와 심근의 혈류량이 증가하고, 내장의 혈류량은 감소하며, 운동 중 증가하는 산소 요구량에 부합하기 위하여 수축기 혈압은 증가하고 확장기 혈압은 감소한다. 그리고 운동 중 모세혈관에서 혈액 순환이 증가하여 신체 내부에 발생하는 노폐물을 빠르게 이동시킨다(강두희, 1988).

운동 중 발생하는 신체 반응의 하나로 움직임-호흡 결합(locomotor-respiratory coupling)이 있다(Bramble과 Carrier, 1983; Niizeki 등, 1993; Takano, 1995). 움직임-호흡 결합이란 움직임과 호흡의 주기가 일정한 비율로 나타나는 현상이다. Persol 등(1991)은 건강한 성인 17명을 대상으로 다양한 속도로 달리는 동안 호흡 형태를 관찰한 결과 가장 일반적인 움직임-호흡 결합의 비는 2:1이라고 보고하였다. Bernasconi와 Kohl(1993)은 39명의 건강한 성인을 대상으로 대상자의 최대 신체 작업능력(maximal physical work capacity)의

60%와 80% 부하로 트레드밀에서 뛰는 동안에 움직임-호흡 결합을 연구하여 운동 부

하에 따라 2:1, 3:1, 4:1의 비로 움직임-호흡 결합이 나타났음을 보고하였다.

운동 중 움직임-호흡 결합 발생에 의한 효과는 에너지 효율성의 증가이다. Coleman(1921)은 두 개 이상의 주기적인 신체 활동이 일치할 때 에너지 소비가 감소하고 피로를 덜 느낀다고 보고하였다. 또한 Bernasconi와 Kohl(1993)은 움직임-호흡 결합이 신체 내부에 미치는 영향을 연구한 결과, 달리는 동안 강한 움직임-호흡 결합이 유지될 때 약한 움직임-호흡 결합이 유지될 때 보다 산소 섭취량이 유의하게 작았다고 보고하였다.

이러한 움직임-호흡 결합은 운동의 효율성을 증가시키는 방법으로 환자의 교육과 치료에 사용할 수 있다. 그러나 움직임-호흡 결합에 관한 연구는 구체적으로 이루어지지 않고 있으며, 이에 대한 기초자료도 부족하다. 따라서 본 연구에서는 정상 성인을 대상으로 운동 부하에 따른 움직임-호흡 결합의 변화를 조사하여 움직임-호흡 결합에 관한 기초 자료를 마련하고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구 대상

본 연구의 대상은 연세대학교에 재학 중인 성인 남·여 20명이었으나 자료수집 과정에서 8명의 대상자는 탈락되었다. 대상자의 선정조건은 다음과 같다.

- 가. 운동선수가 아닌 자
- 나. 운동장애가 없는 자
- 다. 심혈관계나 호흡계에 이상이 없는 자

2. 연구 방법

가. 실험도구

MP100WSW¹⁾는 대상자의 호흡과 보행 주기 측정에 사용되었다. 운동주기를 측정

1) BIOPAC Systems Inc., U.S.A.

하기 위해서 근전도를 사용하였다. 전극²⁾은 직경 10 mm의 표면전극과 직경 2.5 cm의 접지전극을 사용하였으며, 왼쪽 비복근(gastrocnemius muscle)의 근전도 신호를 측정하기 위해서 1개의 채널을 사용하였다. Kuc (1996)과 Roy 등(1988)은 sampling rate를 측정하고자 하는 근육의 평균 주파수의 최소 2배로 정하도록 제안하였는데, 이에 따라 본 실험에서는 sampling rate 200 Hz로 신호를 받아들이고, 받아들인 신호는 5 Hz의 high pass로 처리(Dolan, 1995) 후 정류하였다. 정류한 신호들은 count peak detection 기능을 이용하여 보행 주기를 산출하였다(MP100 System Guide, 1997). 대상자의 호흡 패턴을 측정하기 위해서 SS6 simple sensor w/fast response thermistor를 이용하였다. 이 측정 기기는 온도의 변화를 이용하여 호흡 패턴을 측정할 수 있다. 신호는 sampling rate 200 Hz로 받아들이고, 받아들인 신호는 10 Hz의 low pass filter 처리하였다.

나. 실험방법

1) 운동부하

움직임-호흡 결합은 세 번 측정하였는데, 2 mph(mile per hour), 3 mph 그리고 3.5 mph의 속도에서 측정하였다. 측정속도의 설정기준은 METs(metabolic equivalents)이며 2 mph는 2 METs이고 3 mph가 3 METs, 그리고 3.5 mph는 4 METs인데, 1 METs 당 산소 소비율은 3.5 ml/kg/min이다(Smith 등, 1996).

2) 움직임 주기 측정

움직임 주기의 시작은 비복근의 활동 전위가 시작되는 시간으로 정의하였다(Niizeki 등, 1993). 대상자의 움직임 주기는 왼쪽 비복근의 근전도를 이용하였으며, 표면전극의 부착부위는 비복근의 근

배(muscle belly)였다(이영희, 1994).

3) 호흡주기 측정

대상자의 호흡주기는 SS6 simple sensor w/fast response thermistor를 이용하여 측정하였으며, 전극의 부착위치는 그림 1과 같았다(MP100WSW System Guide, 1997). 호흡 주기의 시작은 흡기가 시작되는 시간으로 정의하였다.

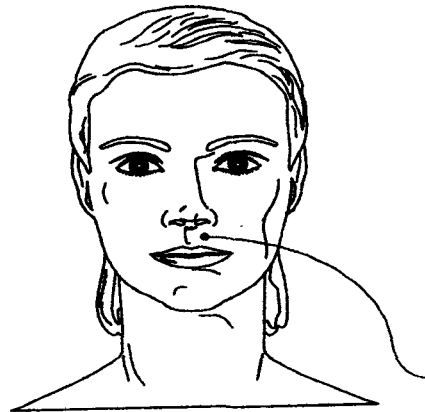


그림 1. 호흡주기 측정을 위한 전극의 위치

4) 움직임-호흡 결합비의 측정

각각의 운동 부하에서 대상자의 움직임 시작과 흡기 시작의 비율을 측정하였다.

3. 실험과정

가. 실험을 시작하기 전에 실험차에 대상자에게 실험과정을 설명하였고, 제비뽑기를 이용하여 각각의 운동부하에 무작위 배치하였다.

나. 실험자는 정해진 전극을 부착하였는데, 호흡 주기를 측정하기 위한 전극, 움직임 주기를 측정하기 위한 전극을 부착하였다.

다. 대상자는 트레드밀에서 2 mph(mile per hour)의 속도로 4분간 운동하였다(그림

2) Nicolet Biomedical Inc., U.S.A.

- 2). 이때, 실험자는 마지막 1분 동안의 호흡과 움직임 주기를 측정하였다. 이는 움직임-호흡 주기가 운동 3분 이후에 뚜렷하게 나타났다고 보고한 Niizeki 등 (1993)의 연구에 근거하였다.
- 라. 4분간의 보행 후, 대상자는 의자에 앉아 5분간 휴식하였다.
- 마. 대상자는 트레드밀에서 3mph와 3.5mph의 운동부하로 '라'항과 '마'항의 과정을 반복하였다.
- 바. 측정된 자료에서 움직임-호흡 결합비를 산출하였다.

Ⅲ. 결과

1. 대상자의 일반적인 특성

대상자의 일반적인 특성은 표 1과 같았다.

2. 움직임-호흡 결합비 측정 결과

운동부하에 따른 움직임-호흡 결합비 측정 결과는 표 2에 제시한 바와 같았다. 총 12명을 대상으로 측정된 결과 2 METs의 운동부하에서는 2:1의 결합비가 7명(58.33%)으로 우세하게 나타났으며, 3 METs의 운동부하에서도 2:1의 결합비가 5명(47.67%)으로 우세하게 나타났고, 4 METs의 운동부하에서는 우세하게 나타나는 결합비를 보이지 않았다.

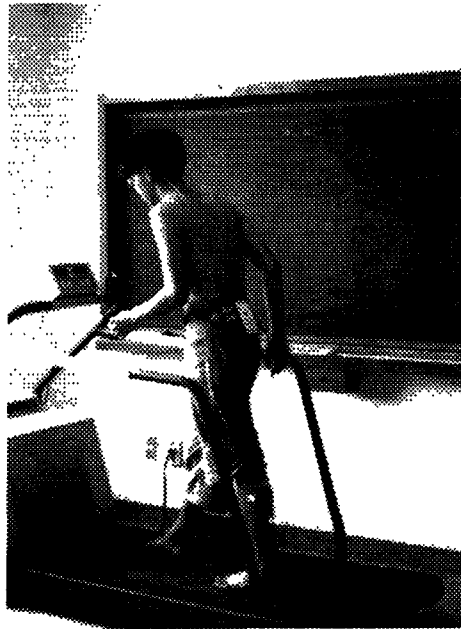


그림 2. 트레드밀 위에서의 운동

표 1. 대상자의 일반적인 특성

(N=12)

	연령(세)	키(cm)	몸무게(kg)
남(n ₁ =6)	21.50±1.22	160.00±2.77	53.17± 7.33
여(n ₂ =6)	25.17±2.64	173.00±3.52	64.75±10.77

표 2. 운동부하에 따른 움직임-호흡 결합비 측정 결과

(N=12)

움직임수:호흡수	2 METs(명)	3 METs(명)	4 METs(명)
1:1	1	1	1
2:1	7	5	2
3:1	2	3	3
4:1	2	1	1
3:2		2	3
5:3			2

운동부하가 증가함에 따라 움직임-호흡 결합비는 3 METs에서는 3:2, 4 METs에서는 3:2, 5:3과 같은 정수배가 아닌 값들이 나타났다.

IV. 고찰

본 연구는 정상 성인을 대상으로 2 METs, 3 METs 그리고 4 METs의 운동 부하에서 움직임-호흡 결합의 변화를 조사하여, 운동의 효율을 증가시키는 방법으로써 움직임-호흡 결합을 이용하기 위한 기초자료를 마련하고자 하였다. 움직임-호흡 결합비는 2 METs와 3 METs에서 2:1의 비가 가장 많이 나타났으며 4 METs에서는 다양한 결합비를 보였다. 이는 운동 부하가 증가함에 따라 움직임-호흡 결합에 변화가 나타난다는 것을 의미한다.

Mahler 등(1991)과 Niizeki 등(1993)은 움직임과 호흡결합의 비가 2:1이라고 하였고, Bramble 등(1983)과 Takano(1995)는 움직임과 호흡결합의 비는 다양하지만 대부분의 대상자들에서 2:1이 나타났다고 보고하였다. 본 연구에서도 다양한 움직임과 호흡결합의 비가 나타났으나 2 METs와 3 METs에서 2:1의 비가 가장 우세하게 나타나 선행연구들의 결과와 일치하였다. 그러나 4 METs에서는 우세한 결합비를 보이지 않았다.

4 METs의 운동 부하에서 움직임-호흡의 결합비가 다양하게 나타난 원인은 4 METs의

움직임-호흡 결합비의 측정에서 정수비가 아닌 2:3과 3:5의 결합비의 결과를 볼 때, 과도한 운동 부하에서는 움직임-호흡의 결합비가 나타나지 않는 것으로 추측된다. 또한 본 실험의 측정 방법에도 원인이 있었을 것으로 생각된다. 보행주기를 측정하기 위한 방법은 여러 가지가 있으나 일반적으로 한쪽 발바닥에 스위치를 부착하여 발뒷꿈치 닿기 간격을 측정하는 방법을 사용한다(Niizeki, 1993; Perry, 1992; Smith 등, 1996; Takano, 1994). Niizeki 등(1993)은 왼쪽 비복근의 근배에 표면 전극을 붙여 근전도 신호가 나타나는 간격을 보행주기라고 정의하였고, 이를 지지하기 위하여 왼쪽 발뒷꿈치에 센서를 부착하여 발뒷꿈치 닿기 간격을 함께 보았다. 본 연구에서는 footswitch를 제작하는데 어려움이 있어 근전도 신호를 사용하여 보행주기를 측정하는 Niizeki(1993)의 방법을 이용하였다. 그러나 4 METs에서는 운동 속도가 빨라짐에 따라 보행주기의 정확한 측정이 어려웠고 이것이 4 METs에서의 움직임-호흡 결합비에 영향을 미쳤으리라 생각된다.

운동의 효율을 증가시키는 방법으로써 움직임-호흡 결합을 이용한 연구는 MacIennan 등(1994)이 보고하였다. MacIennan 등(1994)은 정상 성인 남자를 대상으로 노를 젓기 시작하면서 흡기, 노를 젓기 시작하면서 호기, 자발적인 호흡의 세 가지 형태의 호흡 방법으로 노젓기 운동을 훈련하여 에너지 효율을 비교한 결과 세 가지 호흡 방법에서 유의한

차이를 보이지 않았다고 보고하였다. 그러나 그들은 움직임-호흡 결합은 훈련기간을 길게 할 경우 유의한 효과를 기대할 수 있다고 제안하였다.

운동을 하는 동안 움직임-호흡 결합을 이용하여 운동의 에너지 효율성을 증가시키는 방법에 대한 관심은 높아지고 있으나, 이를 훈련에 이용한 연구는 부족한 실정이며 운동 부하에 따른 움직임-호흡 결합비의 변화양상에 관한 연구보고도 부족하다. 따라서 다양한 운동 부하에 따른 움직임-호흡 결합비의 변화와 움직임-호흡 결합이 운동의 에너지 효율 증가에 유의한 효과가 있는지에 관한 연구가 필요하다.

V. 결론

본 연구는 다양한 운동부하에서의 움직임-호흡 결합비를 알아보려고 하였다. 정상 성인 20명을 대상으로 트레드밀에서 무작위 순서로 2 METs, 3 METs, 4 METs 운동부하로 걷거나 뛰어서 움직임-호흡 결합비를 측정하였다. 보행주기와 호흡주기는 MP100WSW을 이용하여 측정하였는데 보행주기는 왼쪽 비복근의 근배에 표면 전극을 붙여 근전도 신호 상에서의 근육의 초기 활성화(initial firing) 간격으로 하였고, 호흡주기는 SS6 simple sensor w/fast response thermistor를 코밀에 붙여 얻은 신호에서 흡기의 간격으로 하였다. 연구 결과 2 METs와 3 METs로 걷거나 뛰었을 때 우세한 움직임-호흡 결합비는 2:1이었고, 4 METs로 걷거나 뛰었을 때는 일정한 움직임-호흡 결합비를 보이지 않았다.

인용문헌

강두희. 생리학. 3판. 신광출판사, 1988.
이영희, 전세일, 박창일. 자발적 수축시 근 활

동전위의 주파수 분석에 의한 인체 골격근의 특성. 대한재활의학학회지. 1994;18:311-327.

Bernasconi P, Kohl J. Analysis of coordination between breathing and exercise rhythms in man. *J Physiol (Lond)*. 1993;471:693-706.

Bramble DM, Carrier DR. Running and breathing in mammals. *Science*. 1983;219:251-256.

Brown AC, Brengelmann G. Energy metabolism. In: Ruch TC, Patton HD, eds. *Physiology and Biophysics*. Philadelphia, WB Saunders, 1965:1030-1049.

Coleman WM. The psychological significance of bodily rhythms. *J Compar Physiol*. 1921;1:213-220.

Dolan P, Mannion AF, Adams MA. Fatigue of the erector spinae muscles: A quantitative assessment using "frequency banding" of the surface electromyography signals. *Spine*. 1995;20:149-159.

Kremer J, Macy A. MP100 System Guide. Santa Barbara, Biopac Systems, 1997.

Kuc R. Mangnetometer spacing criterion for biomagnetic source current imagine. *IEEE Trans Biomed Eng*. 1996;43:1125-1127.

Maclennan SE, Silverstri GA, Ward J, et al. Does entrained breathing improve the economy of rowing? *Med Sci Sports Exerc*. 1994;26:610-614.

Mahler DA, Hunter B, Lentive T, et al. Locomotor-respiratory coupling develops in novice female rowers with training. *Med Sci Sports Exerc*. 1991;23:1362-1366.

Niizeki K, Kawahara K, Miyamoto Y. Interaction among cardiac, respiratory, and locomotor rhythms during cardio-locomotor synchronization. *J Appl*

- Physiol. 1993;75:1815-1821.
- Passmore R, Durnin JVGA. Human energy expenditure. *Physiol Rev.* 1955;35:801-840.
- Perry J. *Gait Analysis.* New Jersey, Slack Inc., 1992.
- Persol L, Jordan M, Viala D. Evidence for the entrainment of breathing by locomotor pattern in Human. *J Physiol (Paris).* 1991;85:38-43.
- Robert L, Waters MD. Energy expenditure. In: Perry J, ed. *Gait Analysis.* New Jersey, Slack Inc., 1992:443-489.
- Roy SH, De Luca CJ, Casvant DA. Lumbar muscle fatigue and chronic lower back pain. *Spine.* 1988;14:992-1001.
- Smith LK, Weiss EL, Don Lehmkuhl L. *Brunstrom's Clinical Kinesiology.* 4th ed. Philadelphia, FA Davis Co., 1996.
- Takano N. Phase relation and breathing pattern during locomotor/respiratory coupling in uphill and downhill running. *Jpn J Physiol.* 1995;45:47-58.